



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna

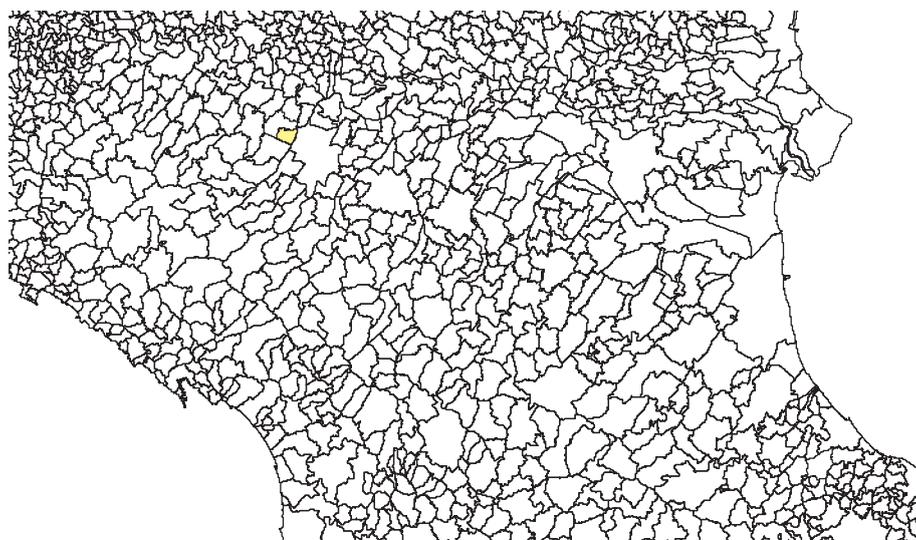


CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Regione Emilia-Romagna  
Comune di Fontevivo



<p>Regione Emilia Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p><u>Direzione tecnica</u> Dott. Geol. Carlo Caleffi Dott. Geol. Francesco Cerutti</p> <p><u>Collaboratori</u> Dott. Geol. Alessandro Ferrari Dott. Ing. Giulia Mainardi Dott. Geol. Matteo Baisi</p>	<p>Data Luglio 2017</p>
-----------------------------------	---	-----------------------------

**INDICE**

1. Introduzione ..... 2  
 1.1 Motivazione dello studio di 3° livello ..... 3  
 1.2 Articolazione dello studio ..... 4

2. Indagini ed analisi ..... 5  
 2.1 Sondaggi a carotaggio continuo ..... 5  
 2.2 Prove di laboratorio ..... 5  
 2.3 Prove Down-Hole ..... 6  
 2.4 Rilievo sismico HVSR mediante tromografo ..... 9

3. Analisi di risposta sismica locale ..... 10  
 3.1 Pericolosità sismica di base ..... 10  
 3.2 Segnali in input ..... 12  
 3.3 Modello geofisico del sottosuolo ..... 13  
 3.3.1 Litologia ..... 13  
 3.3.2 Determinazione della Vs e del bedrock sismico ..... 13  
 3.3.3 Codice di calcolo per la valutazione della RSL ..... 20  
 3.3.4 Risultati della modellazione numerica ..... 20  
 3.3.5 RSL per il sito S1 ..... 21  
 3.3.6 RSL per il sito S2 ..... 24  
 3.4 Criticità del metodo ..... 27  
 3.4.1 Considerazioni sul bedrock sismico ..... 28

4. Elaborati cartografici ..... 30  
 4.1 Carte delle indagini ..... 30  
 4.2 Carte delle frequenze naturali dei terreni ..... 31  
 4.3 Carte delle velocità delle onde di taglio S ..... 32  
 4.4 Carte di microzonazione sismica ..... 33

5. Bibliografia ..... 37

6. Allegati ..... 39

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	1 di 39

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FONTEVIVO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 1. INTRODUZIONE

Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello *Studio di microzonazione sismica di III livello del Comune di Fontevivo*, effettuato su incarico dell'Amministrazione Comunale (cfr. Determinazione n° 560 del 22/12/2016) e finanziato con Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri 26 ottobre 2015 n. 293 "Attuazione dell'articolo 11 del Decreto legge 28 aprile 2009 n° 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n° 77. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2014 (G.U. n° 257 del 04.11.2015).

Lo studio è stato redatto nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- Allegato A2 "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 293/2015 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 14 dicembre 2015" della deliberazione di Giunta regionale n. 573 del 28/04/2016 "O.C.D.P.C. 26 Ottobre 2015, N. 293 - Annualita' 2014 - Criteri per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di interventi di riduzione del rischio sismico in edifici pubblici strategici e rilevanti, in edifici privati e per studi di microzonazione sismica, di cui all'art. 2, comma 1, lettere A), B) E C). Modalita' di concessione e liquidazione dei contributi (da qui in avanti "Allegato A2 della delibera regionale")
- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.0b, Roma, ottobre 2015 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica (da qui in avanti "SRAI")
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- Allegato A della deliberazione di Giunta regionale della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21/12/2015: "Art. 16 della L.R. n° 20 del 24/03/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n° 12" (da qui in avanti "indirizzi regionali").

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	2 di 39

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FONTEVIVO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Quali aree oggetto di studio, d'accordo con l'Amministrazione Comunale è stato preso in esame l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, come definito nell'elaborato PSC.1 – Classificazione del territorio comunale, alla scala 1:10.000, facente parte del Piano Strutturale Comunale approvato con delibera di C.C. n. 56 del 20/12/2012.

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 5.

Essi sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in versione digitale (*pdf*, con risoluzione 300 *dpi*).

I dati cartografici sono forniti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica).

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito software: "MS – SoftMS" nella versione 4.0.

### 1.1 Motivazione dello studio di 3° livello

Il Comune di Fontevivo è già dotato di uno studio di microzonazione sismica di 2° livello, certificato dalla Regione Emilia Romagna nel dicembre 2015 (prot. PG.2015.0872800).

Nell'ambito di tale studio, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stata effettuata, tramite le procedure semplificate previste appunto del 2° livello, una microzonazione con attribuzione di differenti fattori di amplificazione, che hanno lo scopo di consentire una valutazione comparativa della pericolosità sismica.

Considerate le peculiari caratteristiche litostratigrafiche rilevate, per tale analisi sono stati utilizzati due diversi approcci: nella la fascia più vicina al Taro, dove si rinviene un potente orizzonte di ghiaie sub-affiorante, si è sempre considerata la velocità delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo ( $V_{s30}$ ); nella porzione più occidentale del Comune, invece, si è ragionato in termini di profondità (H) e velocità delle onde di taglio ( $V_{sH}$ ) nello strato soprastante quello che "potrebbe" rappresentare un *bedrock* sismico.

Si è così evidenziato, come aspetto più significativo, che questo settore, all'interno del quale ricade anche il Capoluogo, presenta fattori di amplificazione molto elevati, in particolare in termini di  $F_a$  (intensità spettrale  $0.1s < T_0 < 0.5s$ ), coerenti con il fatto che, nella stessa area, le indagini disponibili mostrano un'importante discontinuità delle Vs a profondità comprese tra 5 e 30 m da p.c..

L'elevato valore dei fattori di amplificazione in tali zone aveva suscitato alcune perplessità, tanto che lo studio si concludeva con l'auspicio che vi si potesse effettuare

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	3 di 39

anche un'analisi di terzo livello, sempre nell'ambito degli studi finanziati dalla protezione Civile, onde verificare la validità del modello interpretativo applicato.

In effetti la Regione Emilia Romagna ha ritenuto cretto l'approccio adottato e ha deciso di finanziare tali studi.

## 1.2 Articolazione dello studio

Lo studio di microzonazione di terzo livello è consistito pertanto nelle seguenti fasi:

1. individuazione di due aree rappresentative delle situazioni più critiche classificate nella fase precedente;
2. realizzazione per ciascuna area di un sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 30 m con prelievo di campioni e realizzazione di prova Down-hole per la misura in foro delle Vs;
3. realizzazione di una prova HVSR per la determinazione della frequenza caratteristica del terreno in corrispondenza di ciascun sondaggio;
4. Aggiornamento delle cartografie di primo livello con dati delle nuove indagini:
  - a. Carta delle indagini
  - b. Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)
  - c. Carta delle frequenze naturali dei terreni;
5. realizzazione di prove di colonna risonante sui campioni per la determinazione delle curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione;
6. valutazione della risposta sismica locale mediante il programma Strata che calcola la risposta dinamica monodimensionale di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo;
7. calcolo dei fattori di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FAPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
8. calcolo del fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità ( $FA_{IS}$ ) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s.
9. redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 per i diversi FA:
  - a.  $FA_{PGA}$
  - b.  $FA_{IS\ 0.1-0.5}$
  - c.  $FA_{IS\ 0.5-1.0}$

 <b>EN GEO S.r.l.</b> <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	4 di 39

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FONTEVIVO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 2. INDAGINI ED ANALISI

Di seguito vengono descritte le indagini e le analisi specifiche effettuate per la microzonazione di 3° livello.

Le due aree di indagine non state individuate, in accordo con i Tecnici del Comune, principalmente sulla base degli studi di secondo livello. Si tratta delle zone inserite nel settore più occidentale del territorio comunale, in cui i fattori di amplificazione, come illustrato in precedenza risultavano molto elevati.

Il primo sondaggio è stato realizzato in corrispondenza del Capoluogo, il secondo nei pressi della via Emilia.

### 2.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Nella campagna d'indagine sono stati eseguiti, da parte della ditta Elletipi s.r.l. di Ferrara, due sondaggi verticali a carotaggio continuo (S1 ed S2) entrambi spinti a una profondità di 30,0 metri dal piano campagna.

Entrambi i sondaggi sono stati attrezzati con un tubo in PVC per l'esecuzione della prova down-hole.

Nell'indagine è stata utilizzata una sonda a rotazione impiegando per la perforazione dei carotieri semplici. Nel corso delle operazioni di perforazione sono stati prelevati un totale di 4 campioni indisturbati, usando campionatori in acciaio a pareti sottili (Shelby), successivamente inviati al Laboratorio Elletipi per le analisi.

Nelle litostratigrafie allegare sono riportate:

- le suddivisioni stratigrafiche con relative quote e le descrizioni litologiche effettuate direttamente in campagna con metodi speditivi;
- le quote di prelievo dei campioni indisturbati;
- la determinazione speditiva di campagna del valore di pocket penetrometer, espressi in Kg/cm<sup>2</sup>;
- il livello di falda misurato durante l'esecuzione della perforazione.

### 2.2 Prove di laboratorio

I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati inviati al Laboratorio Elletipi srl di Ferrara per le analisi geotecniche.

Per ogni campione prelevato sono state eseguite le seguenti prove:

- Descrizione geotecnica;

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	5 di 39

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FONTEVIVO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- Determinazione dei Limiti di Atterberg;
- Determinazione delle caratteristiche granulometriche;
- Determinazione del peso di volume
- Determinazione dell'umidità naturale.

Inoltre su due campioni sono state eseguite n° 2 prove in colonna risonante per la determinazione dei parametri  $G/G_0$  e D.

I risultati delle prove di laboratorio sono riportati in allegato.

### 2.3 Prove Down-Hole

Per misurare la velocità delle onde S nel terreno sono state eseguite due indagini sismiche tipo Down-Hole.

A tale scopo i sondaggi, al termine della perforazione, sono stati attrezzati con un tubo in PVC del diametro di 3 pollici. Tale tubo è stato reso solidale con il terreno mediante cementazione con boiaccia di cemento iniettato mediante pompa a bassa pressione.

Una volta che il cemento ha fatto presa, si è proceduto all'esecuzione della prova sismica del tipo Down-Hole.

La prova Down-Hole è stata eseguita con cadenza delle misure pari ad un metro, dal p.c. fino a fondo sondaggio, ad una profondità di 30 metri, utilizzando il sismografo digitale DoReMi della Sara Eletronic Instruments collegato ad un geofono da foro tridimensionale Sara SS-BH con 5 canali di cui uno Verticale e quattro orizzontali da 10 Hz.

Gli impulsi sismici sono stati originati con procedure specifiche in modo da generare, oltre alle onde di compressione (Onde P), anche onde a componente di taglio orizzontale (onde SH), essendo queste utilizzabili per la determinazione del Modulo dinamico  $G_0$  e del Modulo di Young E.

Le prove sismiche Down-Hole, sono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette, che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità, energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo).

Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	6 di 39

Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio elettromeccanico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (nel caso in esame 1 m).

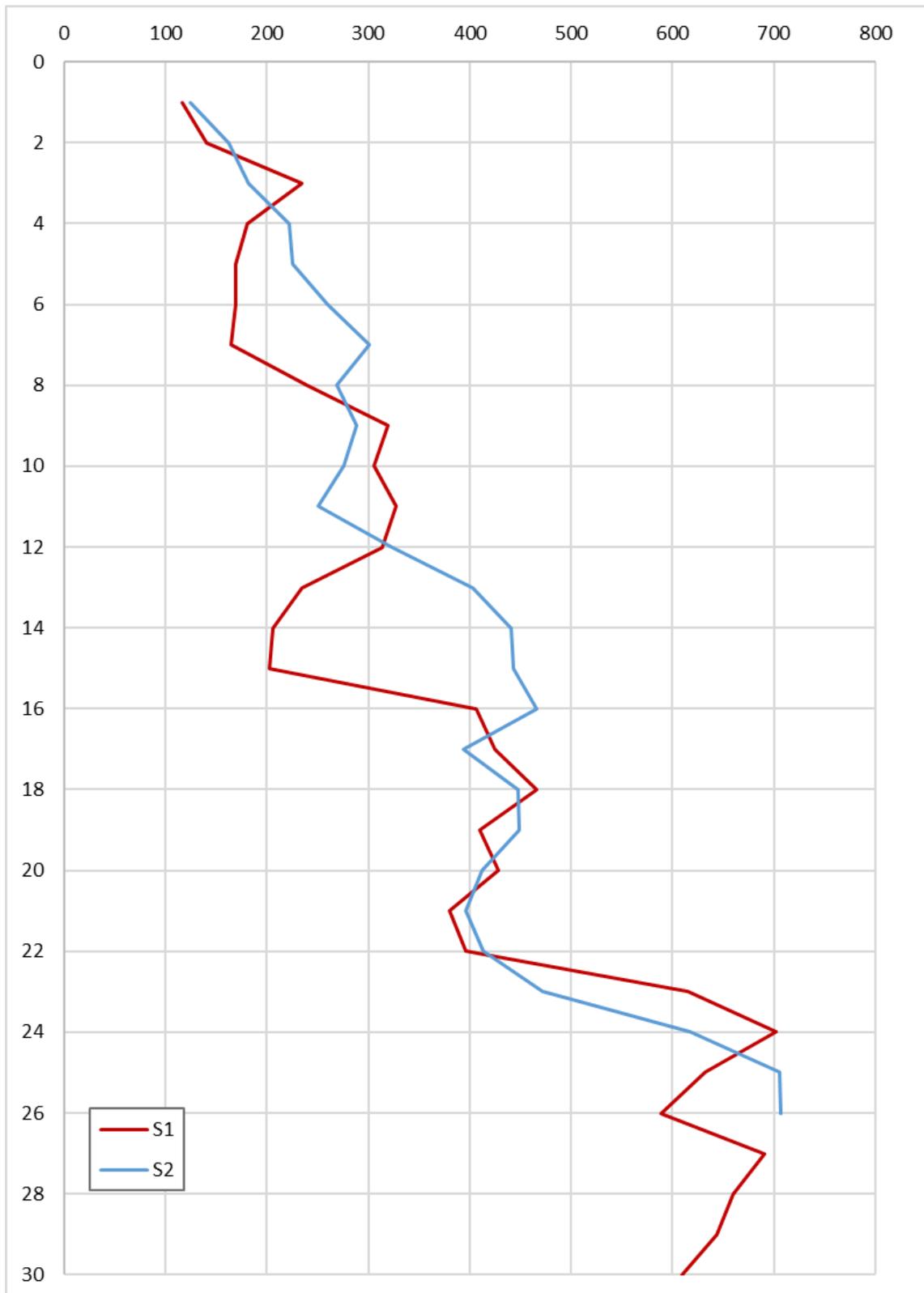
Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungono il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato. Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda di compressione e l'energia dell'onda trasversale (di taglio) a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto.

L'analisi interpretativa dei dati, prevede un sismogramma per le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y).

L'interpretazione dei dati così acquisiti consente di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde sia di pressione che di taglio in funzione della profondità.

In Fig. 1 viene riportato il grafico, in funzione della profondità della velocità delle sole onde S, necessarie per determinare la categoria sismica del sottosuolo.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	7 di 39



**Fig. 1 - Valori di Vs in funzione della profondità misurati con le prove Down-hole**

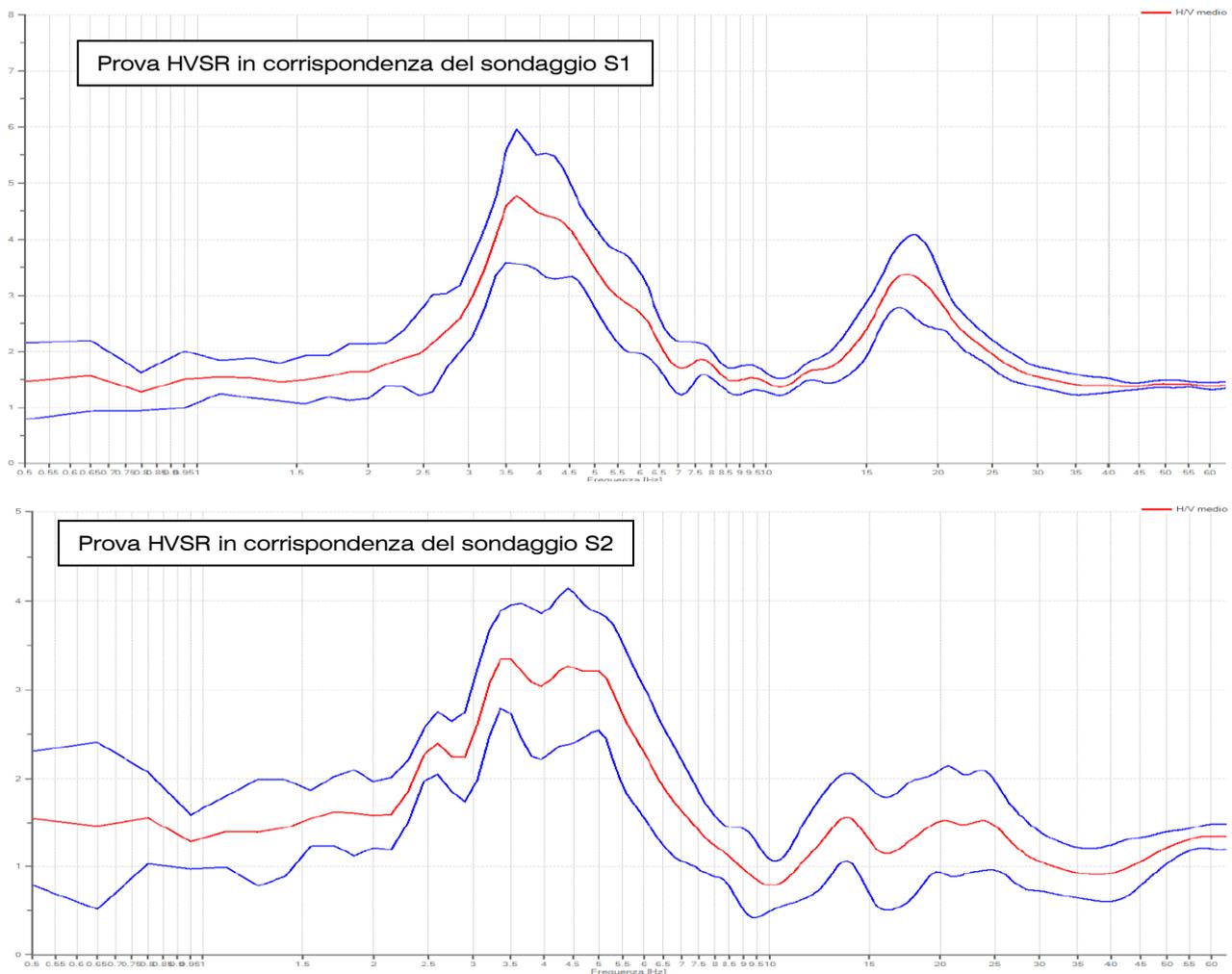
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	8 di 39

## 2.4 Rilievo sismico HVSR mediante tromografo

Ai fini della determinazione della frequenza caratteristica dei suoli in corrispondenza dei punti di sondaggio è stata eseguita una prova HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) tramite tromografo digitale.

I risultati del rilievo sismico mediante tromografo sono riportati in allegato.

La prova è stata condotta utilizzando di un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 20 minuti). Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z). Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza - Fig. 2).



**Fig. 2 - Elaborazione delle misure registrate dal tromografo digitale: rapporto H/V**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	9 di 39

### 3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Di seguito vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale, valide per entrambi i siti indagati. Nei successivi paragrafi, saranno, poi, illustrati i risultati della RSL per ciascun sito.

#### 3.1 Pericolosità sismica di base

Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell'ambito della microzonazione sismica i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall'Allegato A4 della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna.

In particolare l'Allegato A4 contiene:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna;
- le indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.
- Le indicazioni per il calcolo dei valori di  $a_{refg}$  (10% di probabilità di superamento in 50 anni) di ogni sito indagato;

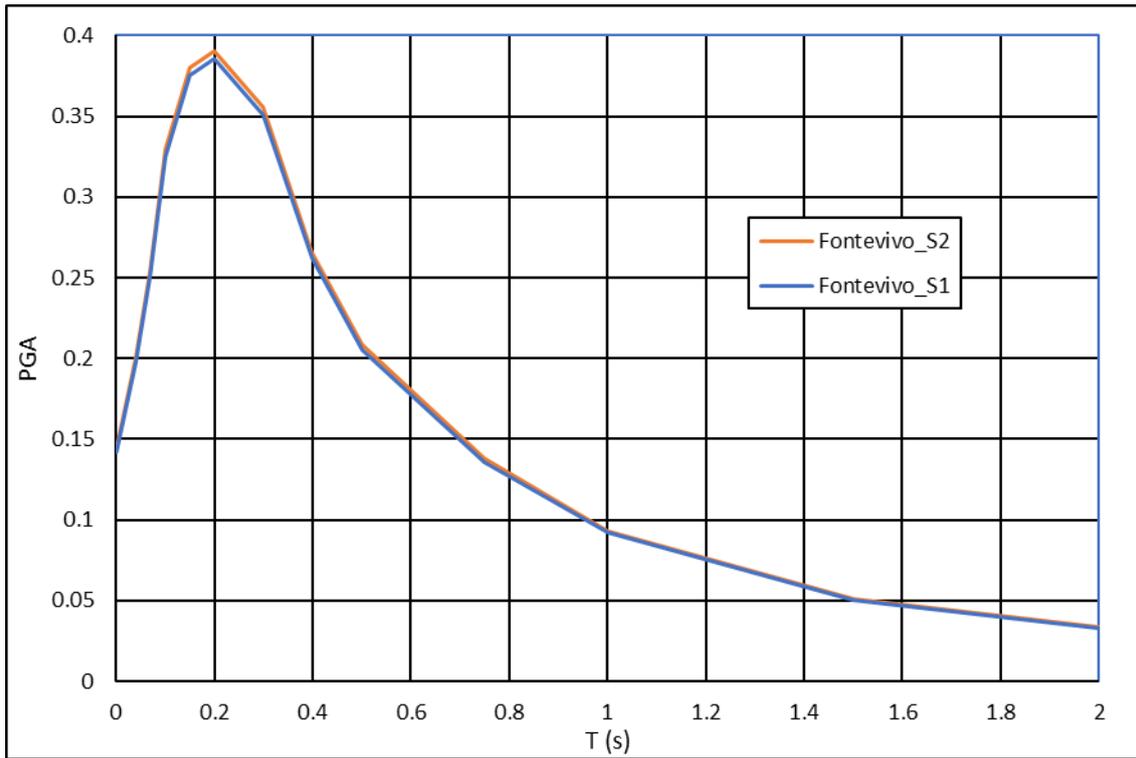
Per i due punti di indagine il parametro  $a_{refg}$  risulta il seguente (Tab. 1)

<b><i>Punto di indagine</i></b>	<b><i><math>a_{refg} (a_g/g)</math></i></b>
S1	0.1423
S2	0.1442

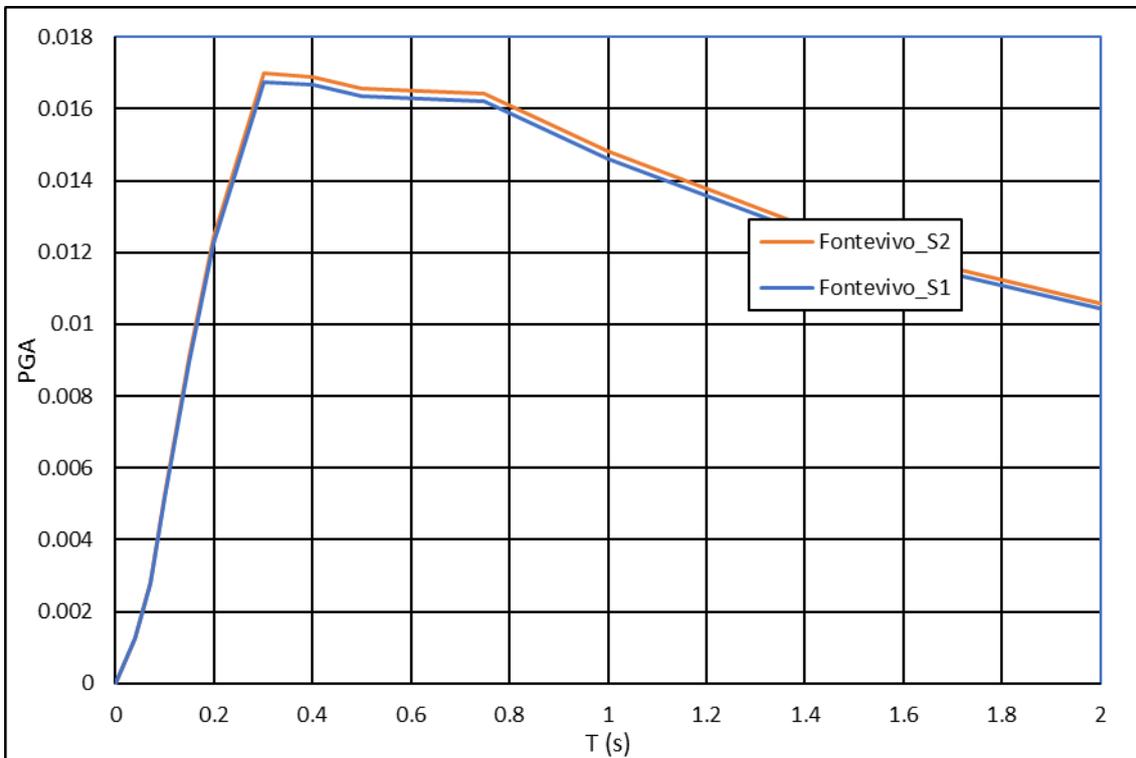
**Tab. 1 - Valori di  $a_{refg}$  (10% di probabilità di superamento in 50 anni)**

Di conseguenza, gli spettri elastici di risposta in accelerazione (Fig. 3) di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale, e i conseguenti spettri di risposta in velocità, per il calcolo dell'intensità di Housner, (Fig. 4), sono i seguenti:

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	10 di 39



**Fig. 3 - Spettri di risposta elastici in accelerazione su suolo A (475Y)**



**Fig. 4 - Spettri di risposta elastici in velocità su suolo rigido (475Y)**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FONTEVIVO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Come si può facilmente constatare le accelerazioni su suolo di tipo A sono abbastanza basse e i relativi spettri di risposta tutti molto simili tra loro.

### 3.2 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati, oltre a quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015<sup>1</sup>, anche quelli forniti dal software SEISM-HOME<sup>2</sup> di Eucentre.

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banche dati.

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, così come rappresentato in Fig. 3, mentre, nel caso di SEISM\_HOME, il confronto viene effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2008, sempre con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce 3 segnali per ciascun comune; SEISM-HOME, invece, fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008.

Nel complesso, quindi, per ciascun sito, sono stati utilizzati 10 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale. Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER e indicato in Tab. 1. Vista la vicinanza tra i due siti di indagine i sismi di riferimento sono gli stessi.

<b><i>Segnali RER</i></b>	<b><i>Segnali Seism-Home</i></b>
000046xa_034016Fontevivo.xy 000126xa_034016Fontevivo.xy 000354xa_034016Fontevivo.xy	TR475_ID15160_1 - 7 - tratti dai segnali: 000182xa.cor 000234ya.cor 000764ya.cor 0455x.txt 1033y.txt SAG0010503201053.NS 20090406_013239ITDPC_MTR_NSC.DAT

**Tab. 2 - Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL**

<sup>1</sup> disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica)

<sup>2</sup> Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [ 2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	12 di 39

### 3.3 Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ );
- curve di variazione dello smorzamento ( $D$ ) e della rigidezza ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione e densità in situ,

Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il bedrock sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità  $V_s > 800$  m/s, difficilmente raggiungibile nelle zone in questione<sup>3</sup>.

#### 3.3.1 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati i dati delle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo realizzati in ciascun sito. La valutazione di risposta sismica locale, infatti, è stata realizzata in corrispondenza di tali verticali d'indagine.

#### 3.3.2 Determinazione della $V_s$ e del bedrock sismico

La determinazione della  $V_s$  in funzione della profondità è stata effettuata mediante prove Down-hole in foro di sondaggio fino a 30 m.

Le prove hanno fornito valori di  $V_s$  uniformemente crescenti con la profondità, localmente poco correlati con la litologia.

La definizione della profondità del *bedrock* sismico è stata effettuata mediante un processo iterativo che ha tenuto conto della frequenza principale dei terreni registrata nel corso delle prove HVSR e delle velocità media delle onde S.

Considerata, infatti, la relazione tra la frequenza, la profondità e la velocità delle onde S:

$$f = \frac{V_s}{4H}$$

dove:

f = frequenza del terreno

H = profondità

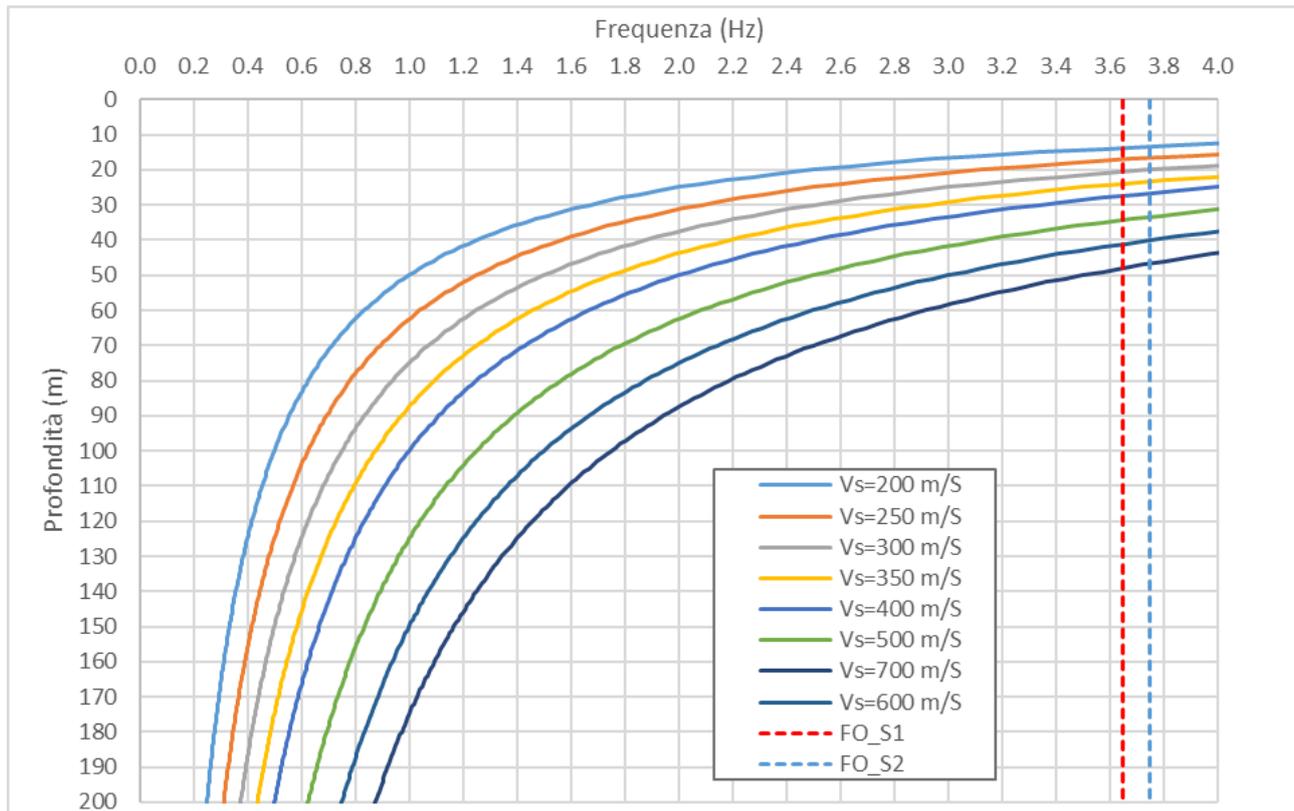
$V_s$  = velocità delle onde S

<sup>3</sup> A tale proposito vedi § 3.4.1

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	13 di 39

è possibile ricostruire il grafico di Fig. 5, per velocità  $V_s$  crescenti. Nota la frequenza caratteristica del terreno (rappresentata con linee verticali in Fig. 5) e valutata la velocità media in funzione della profondità è possibile una prima stima della profondità della superficie risonante individuata dalle prove HVSR.

Va chiarito che tale superficie, in genere, come meglio illustrato in seguito, non costituisce il vero e proprio *bedrock*, in quanto non raggiunge mai la velocità di 800 m/s.

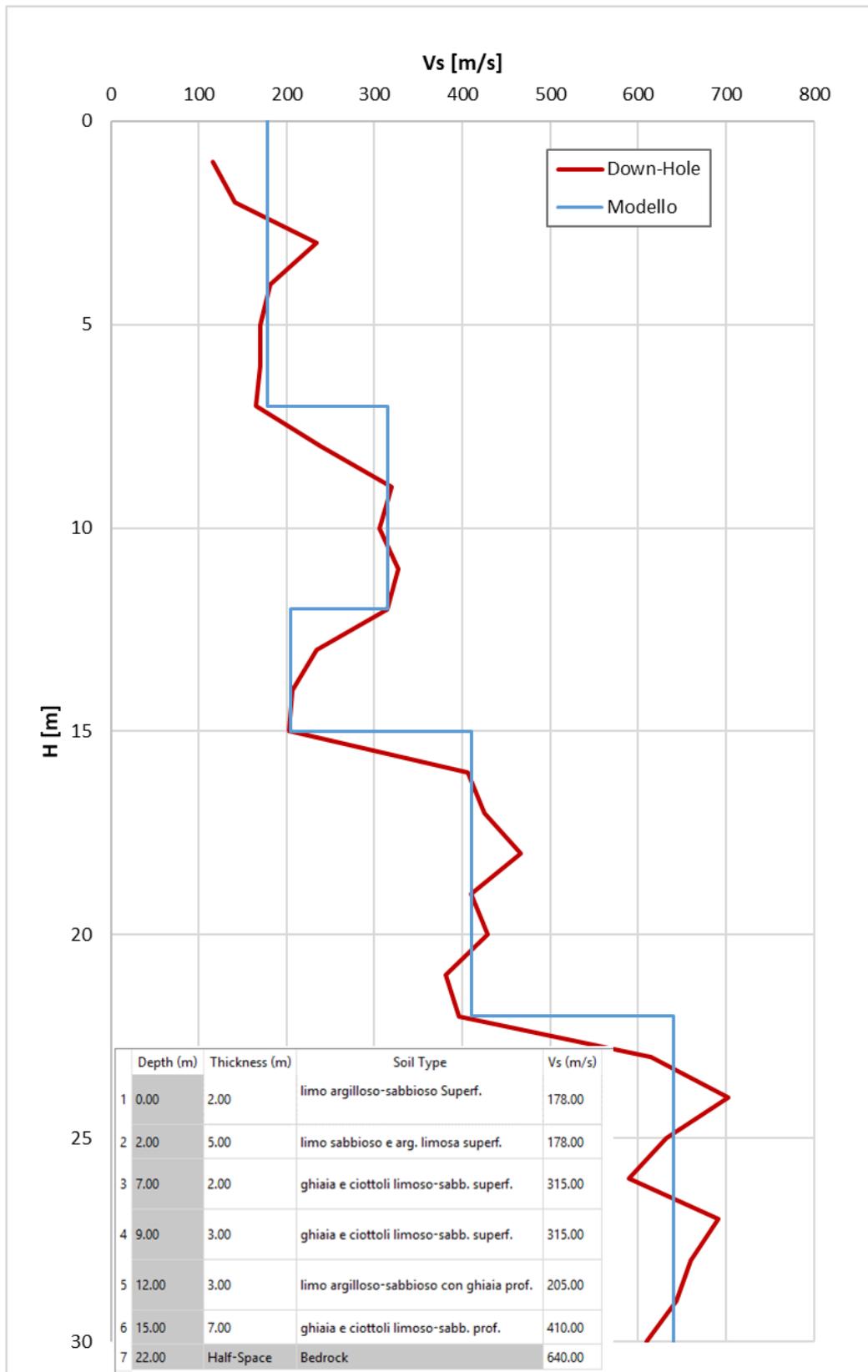


**Fig. 5 - Curve frequenza-profondità tracciate per diverse velocità delle onde S**

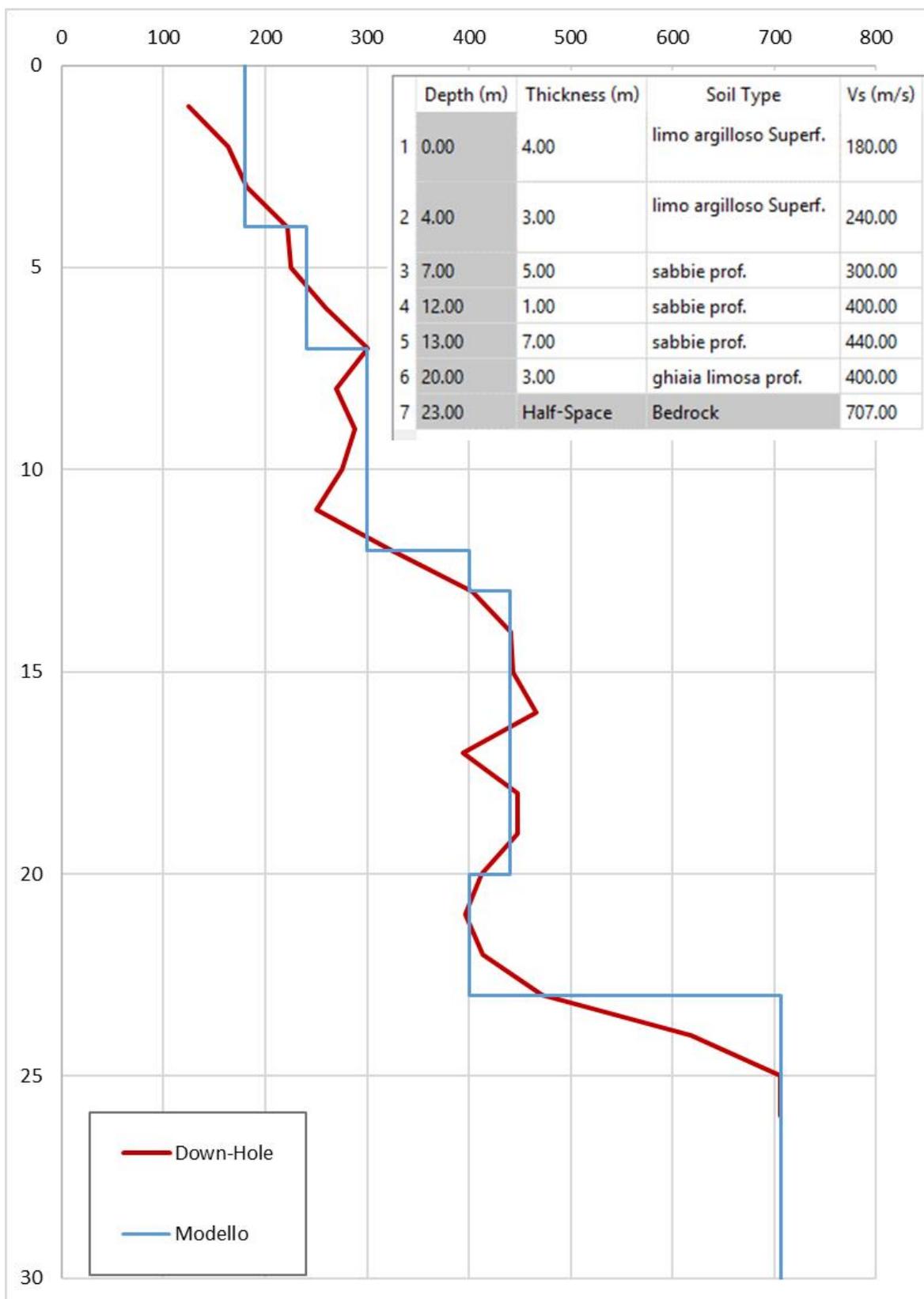
Nel presente studio, in realtà, si è riscontrata una discrepanza tra i risultati della prova HVSR e quelli derivanti dalla risposta sismica locale. Tale discrepanza verrà discussa nel Cap. 3.4, unitamente alla valutazione del *bedrock*.

Mediante il processo sopra descritto si giunge alla discretizzazione della  $V_s$  in funzione della profondità, sinteticamente illustrata in Fig. 6 per il sondaggio S1 e in Fig. 7 per sondaggio S2.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	14 di 39



**Fig. 6 - Discretizzazione della Vs con la profondità per il sondaggio S1**

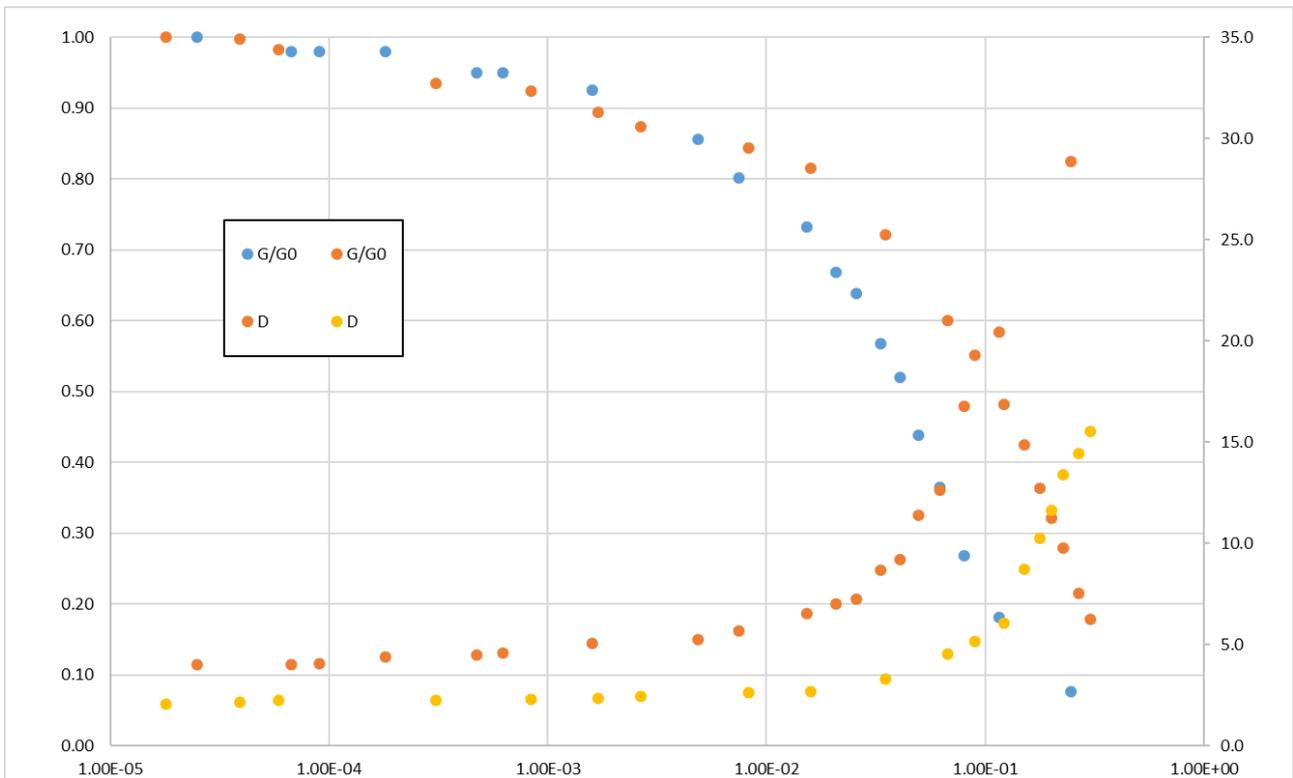


**Fig. 7 - Discretizzazione della Vs con la profondità per il sondaggio S2**

**3.3.2.1 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G<sub>0</sub>) in funzione della deformazione**

Per la valutazione delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G<sub>0</sub>) in funzione della deformazione di taglio γ, sono state realizzate 2 prove di laboratorio in colonna risonante sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi.

Tali prove hanno fornito dati sperimentali (Fig. 8) che hanno consentito di definire le leggi di variazione dei parametri D e G/G<sub>0</sub> mediante il modello iperbolico di Yokota (1981).



**Fig. 8 - Dati sperimentali delle prove RC**

Le leggi di variazione proposte da Yokota sono le seguenti:

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha\gamma^\beta}$$

$$D = \eta e^{\left[-\lambda \frac{G}{G_0}\right]}$$

Dove:

G/G<sub>0</sub> = modulo di taglio normalizzato

D = rapporto di smorzamento

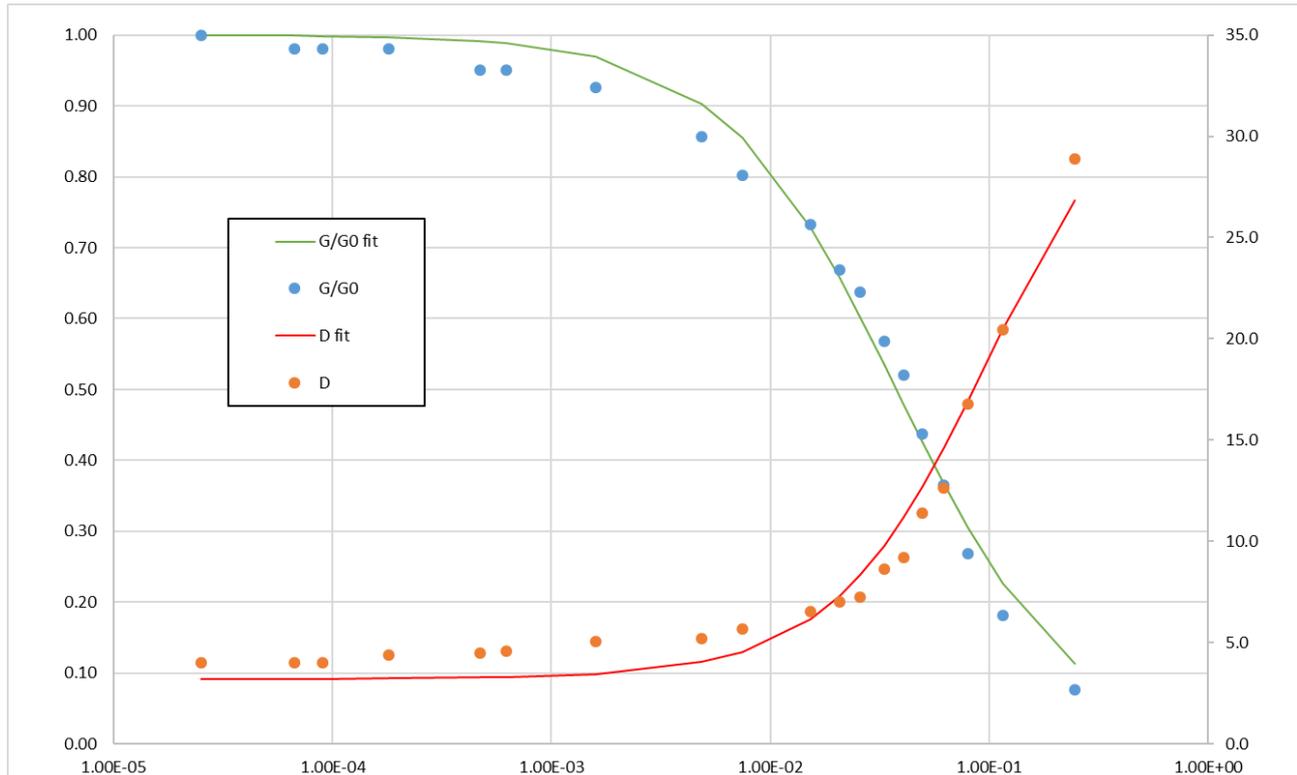
 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	17 di 39

$\gamma$  = deformazione di taglio

$\alpha, \beta, \eta, \lambda$  = parametri sperimentali del modello

Il fit dei dati sperimentali alle funzioni sopra descritte è stato effettuato con il metodo dei minimi quadrati ( $X^2$ ).

In Fig. 9 è riportato un grafico esemplificativo della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione S2SH2.



**Fig. 9 - Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione per il campione S2SH2**

Il riepilogo dei risultati delle analisi effettuate è riportato in Tab. 3, mentre in Tab. 4 sono riportati i valori delle proprietà indice dei terreni analizzati. Va precisato che nel corso delle perforazioni sono stati prelevati 4 campioni, tutti caratterizzati al fine di verificare l'estensibilità delle prove RC ai diversi strati.

In Fig. 10 sono riportati i grafici delle curve di interpolazione per tutti i campioni.

Camp.	Prof. (m)	litologia (AGI)	Parametri curve G/G0 e D					
			prova	$G_0$ (MPa)	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
S1SH1	2.50-3.00	Sabbia limoso argillosa	RC	25.57	8.11	0.87	34.80	3.32

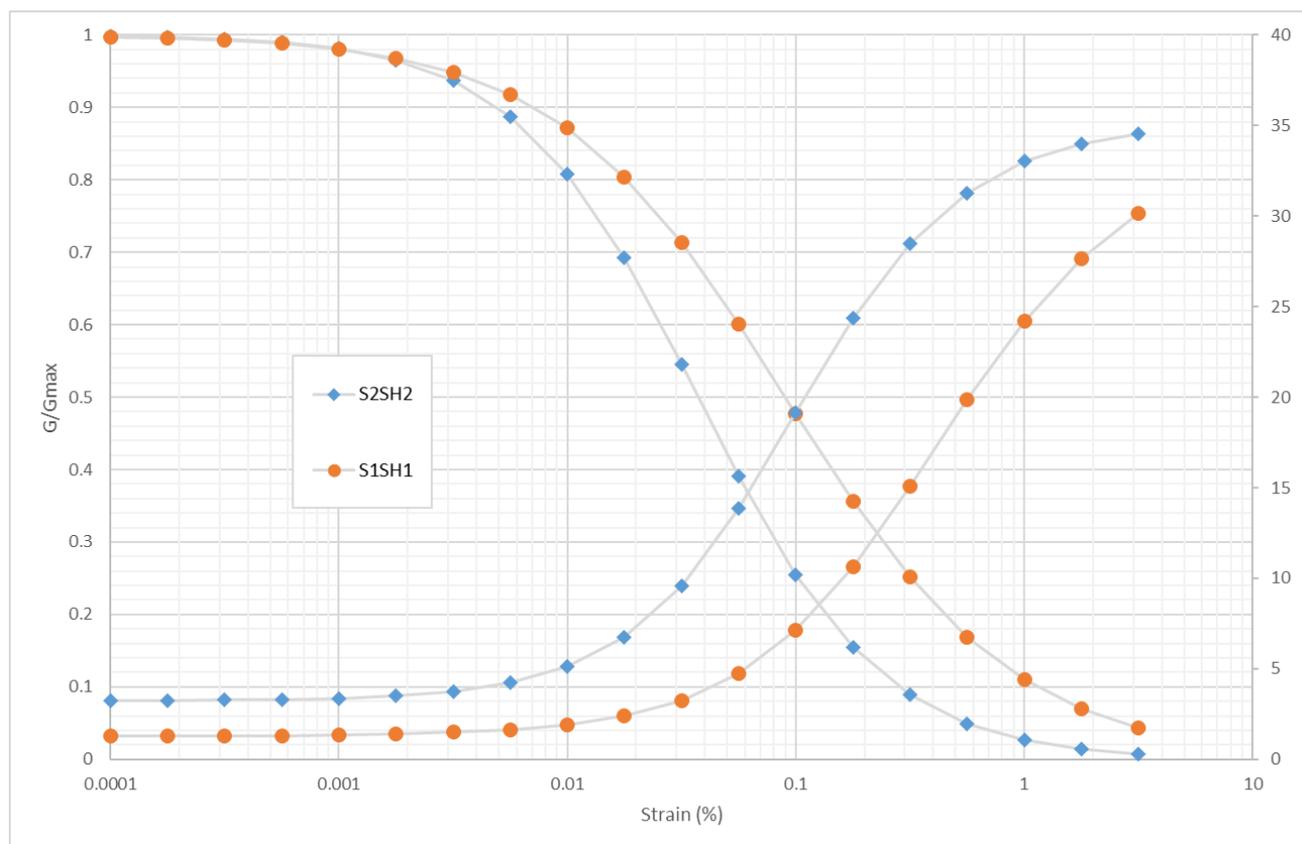
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	18 di 39

Camp.	Prof. (m)	litologia (AGI)	Parametri curve G/G0 e D					
S1SH2	9.00-9.50	Argilla limosa	RC	73.19	35.93	1.09	35.22	2.39

**Tab. 3 - Riepilogo dei risultati della ricostruzione delle curve sperimentali**

Camp.	Prof.	Litologia (AGI)	Valori indice						Granulometria (AGI)			
			W %	$\gamma_{nat}$ Mg/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sec}$ Mg/m <sup>3</sup>	LL %	LP %	IP %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %
S1SH1	2.50-3.00	Argilla limosa	31.0	1.93	1.47	76	51	26	0.0	0.1	34.9	65.0
S1SH2	12.90-13.50	Argilla con limo deb. sabbiosa	27.3	1.97	1.55	63	30	32	4.4	14.2	40.5	40.8
S2SH1	42.00-42.60	Argilla con limo	25.2	1.96	1.57	70	29	41	0.0	1.6	59.4	39.0
S2SH2	9.00-9.50	Sabbia limoso argilloso	29.0	1.93	1.49	36	21	16	0.0	63.0	22.9	14.0

**Tab. 4 - Riepilogo delle proprietà indice dei terreni analizzati**



**Fig. 10 - Grafico delle curve di interpolazione per tutti i campioni**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	19 di 39

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FONTEVIVO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

### **3.3.3 Codice di calcolo per la valutazione della RSL**

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata<sup>4</sup> sviluppato da A. Kottke e E. Rathje<sup>5</sup>. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer<sup>6</sup>, 2001), con esito soddisfacente.

Strata calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo.

Il programma adotta le seguenti convenzioni:

- La risposta del deposito è causata da onde di taglio polarizzate orizzontalmente che si propagano verticalmente nel *bedrock* verso la superficie lungo una colonna verticale monodimensionale di terreno;
- Le superfici di stratificazione sono orizzontali;
- Le superfici del *bedrock* e delle stratificazioni si estendono lateralmente all'infinito;
- La stratificazione è lateralmente omogenea;
- La superficie topografica è priva di irregolarità.

La valutazione della RSL è stata effettuata utilizzando il modello "lineare equivalente" (EQL), che considera la variazione dei parametri di rigidità e smorzamento dei terreni in funzione della deformazione indotta dal sisma.

### **3.3.4 Risultati della modellazione numerica**

I risultati della analisi condotte con il codice STRATA, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire, per ciascun sito comunale:

- La funzione di trasferimento del segnale sismico dal *bedrock* alla superficie;
- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA), da cui è stato derivato, mediante la formula  $PSV(T_i) = T_i * PSA(T_i) / 2\pi$ , lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output.
- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità;

<sup>4</sup> Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.

<sup>5</sup> Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

<sup>6</sup> Treasure island geotechnical array – case study for site response analysis. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23–26, 2011 · University of California Santa Barbara

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	20 di 39

- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione ( $FA_{PGA}$ ), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità ( $FA_{IS}$ ) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido (cfr. Fig. 4). In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

$$FA_{IS\ 0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.0} = \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.5} = \frac{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

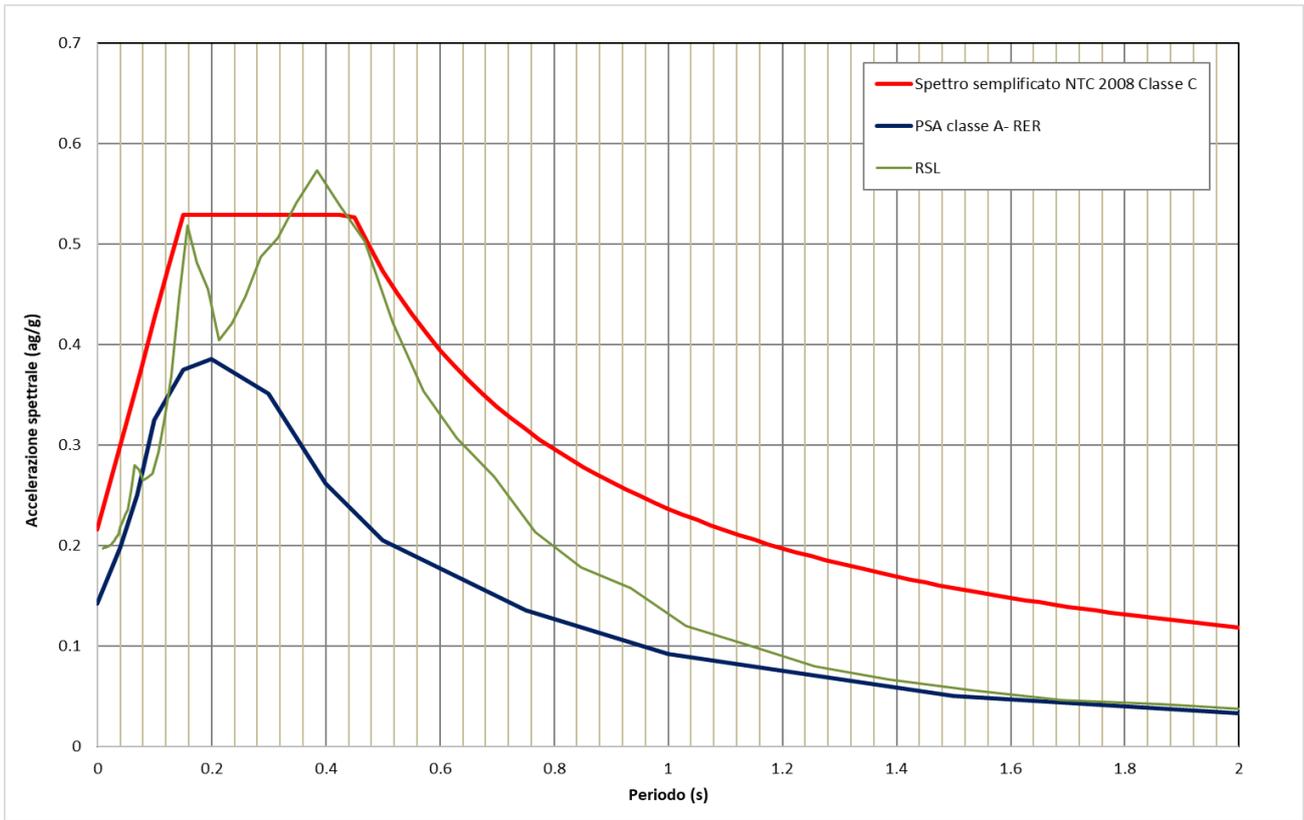
### 3.3.5 RSL per il sito S1

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

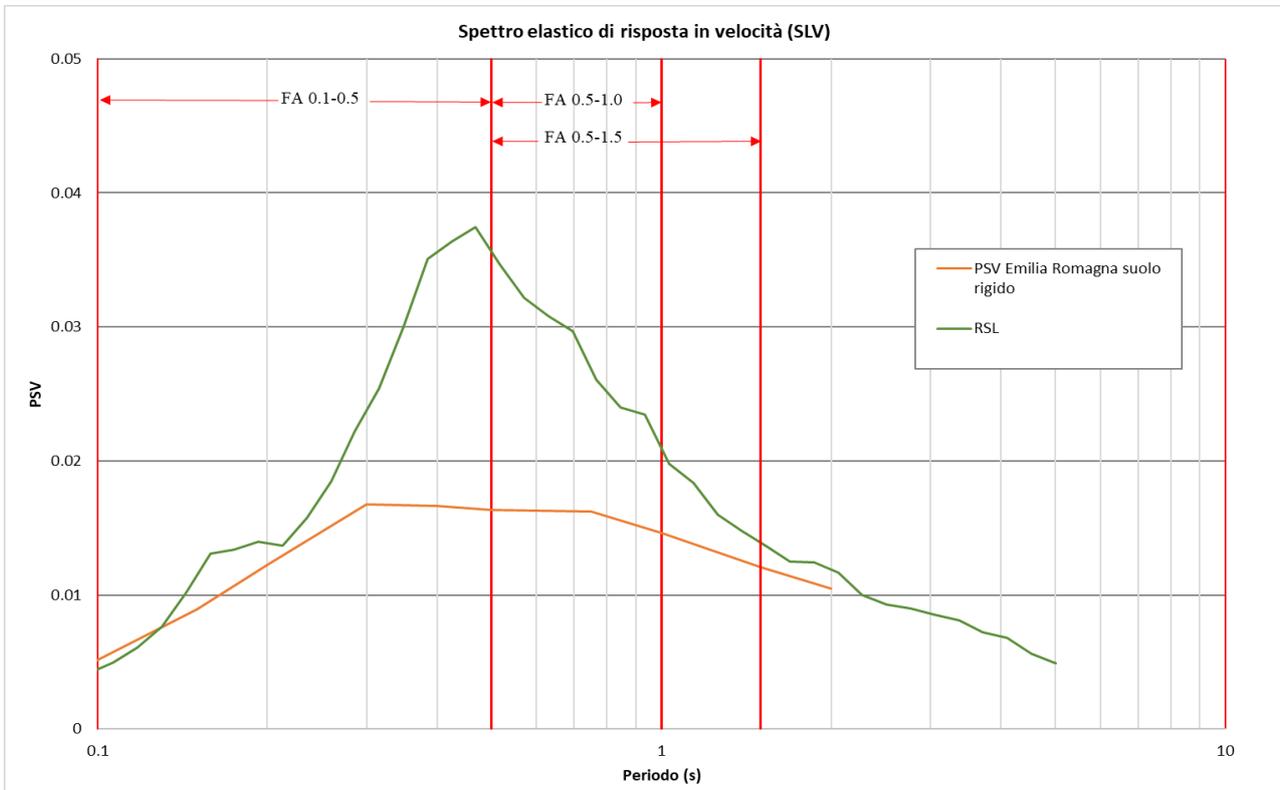
Litologia	Spess.	Prof.	$\gamma$	Vs	Parametri G/G0		Parametri D	
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	m/s	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
Limo argilloso	2.0	0.0	18.0	178	8.11	0.87	34.8	3.32
Limo sabbioso	5.0	2.0	18.50	178	35.93	1.09	35.22	2.39
Ghiaia	5.0	9.0	20.0	315	21.55	0.80	14.70	3.08
Limo argilloso	3.0	12.0	19.0	205	8.11	0.87	34.8	3.32
Ghiaia	7.0	15.0	20.5	410	21.55	0.80	14.70	3.08
Bedrock		22.0	22.0	640				

**Tab. 5 - Modello geofisico**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	21 di 39

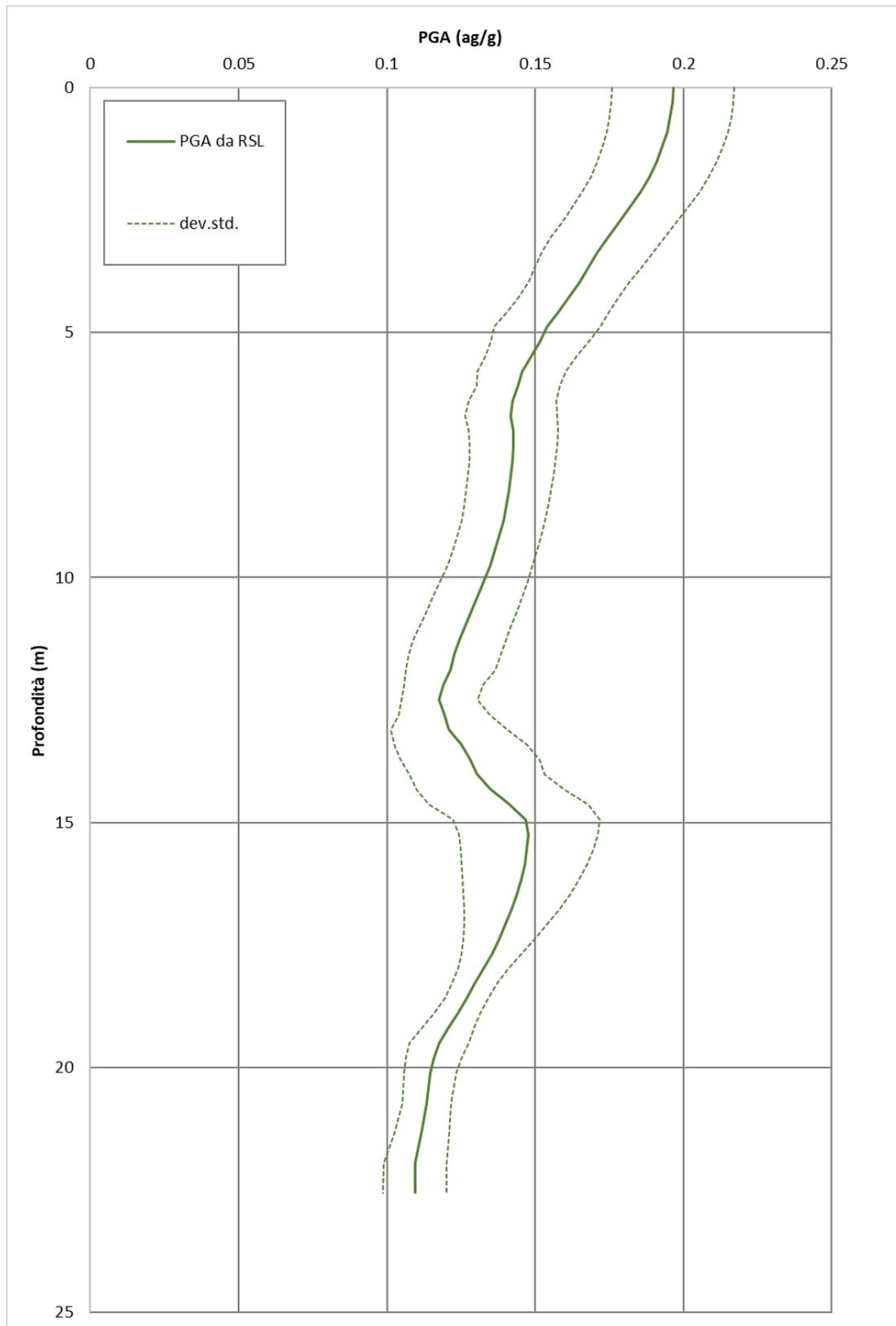


**Fig. 11 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 12 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	22 di 39



**Fig. 13 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	23 di 39

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FONTEVIVO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.39	1.9	1.5
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.65	2.1	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.65	2.4	
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.43		

**Tab. 6 - S1 - Fattori di amplificazione**

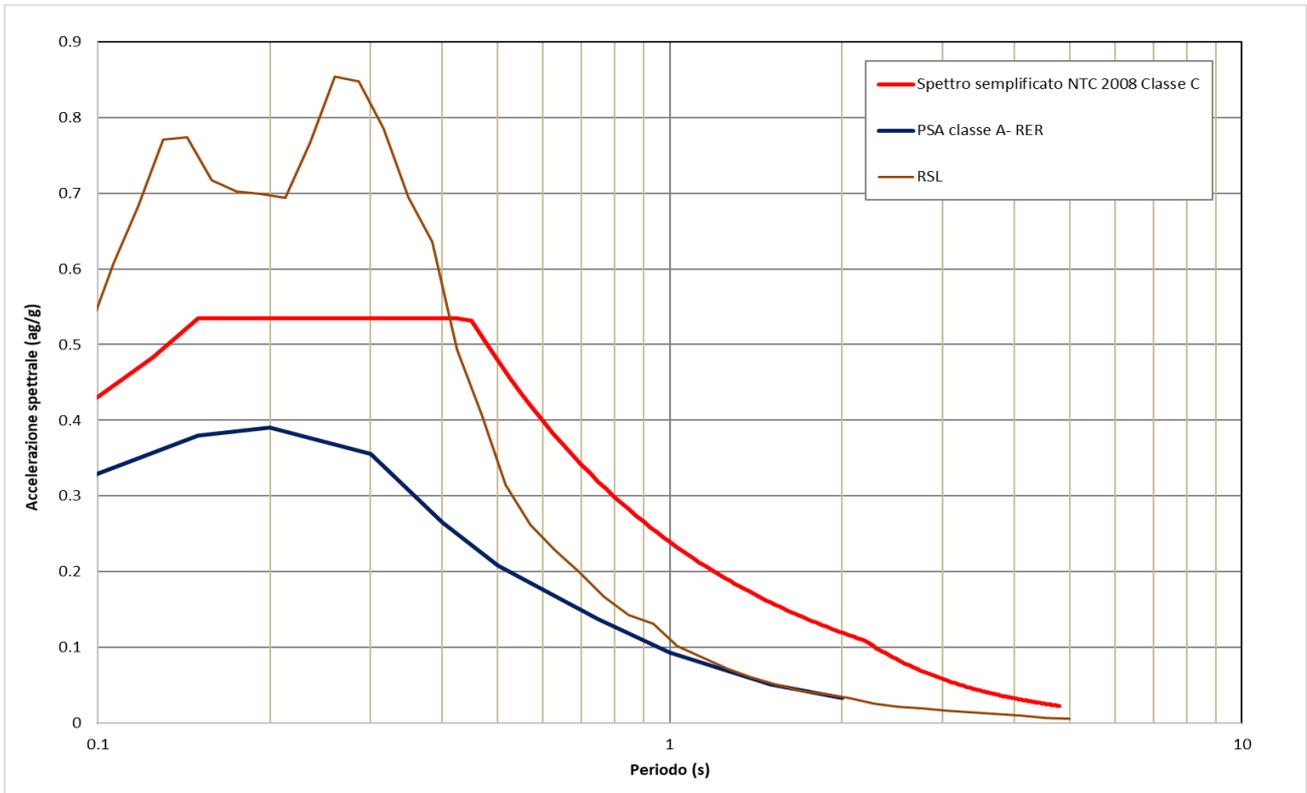
### 3.3.6 RSL per il sito S2

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

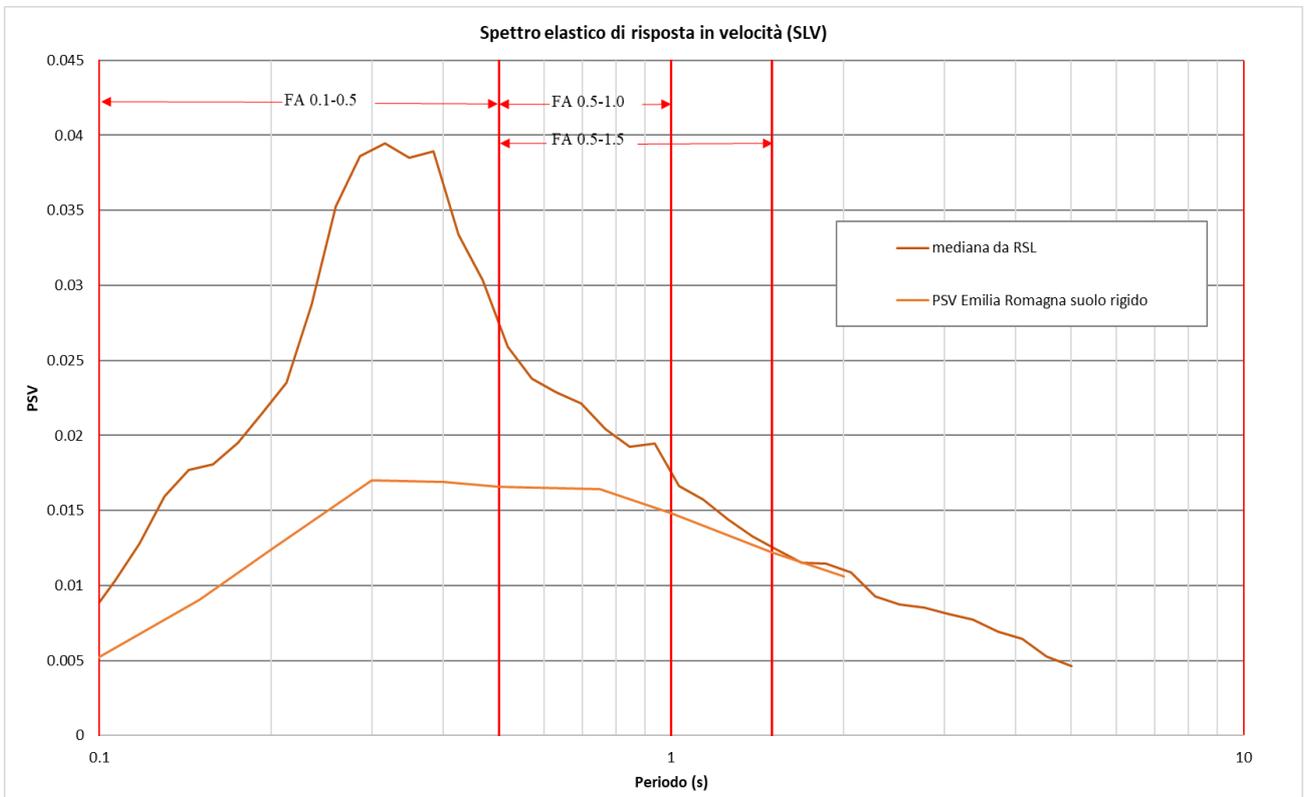
Litologia	Spess.	Prof.	$\gamma$	$V_s$	Parametri G/G0		Parametri D	
	<i>m</i>	<i>M</i>	$kN/m^3$	<i>m/s</i>	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
Limo argilloso	2.0	0.0	18.0	178	8.11	0.87	34.8	3.32
Limo sabbioso	5.0	2.0	18.50	178	35.93	1.09	35.22	2.39
Ghiaia	5.0	9.0	20.0	315	21.55	0.80	14.70	3.08
Limo argilloso	3.0	12.0	19.0	205	8.11	0.87	34.8	3.32
Ghiaia	7.0	15.0	20.5	410	21.55	0.80	14.70	3.08
Bedrock		22.0	22.0	640				

**Tab. 7 - Modello geofisico**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	24 di 39

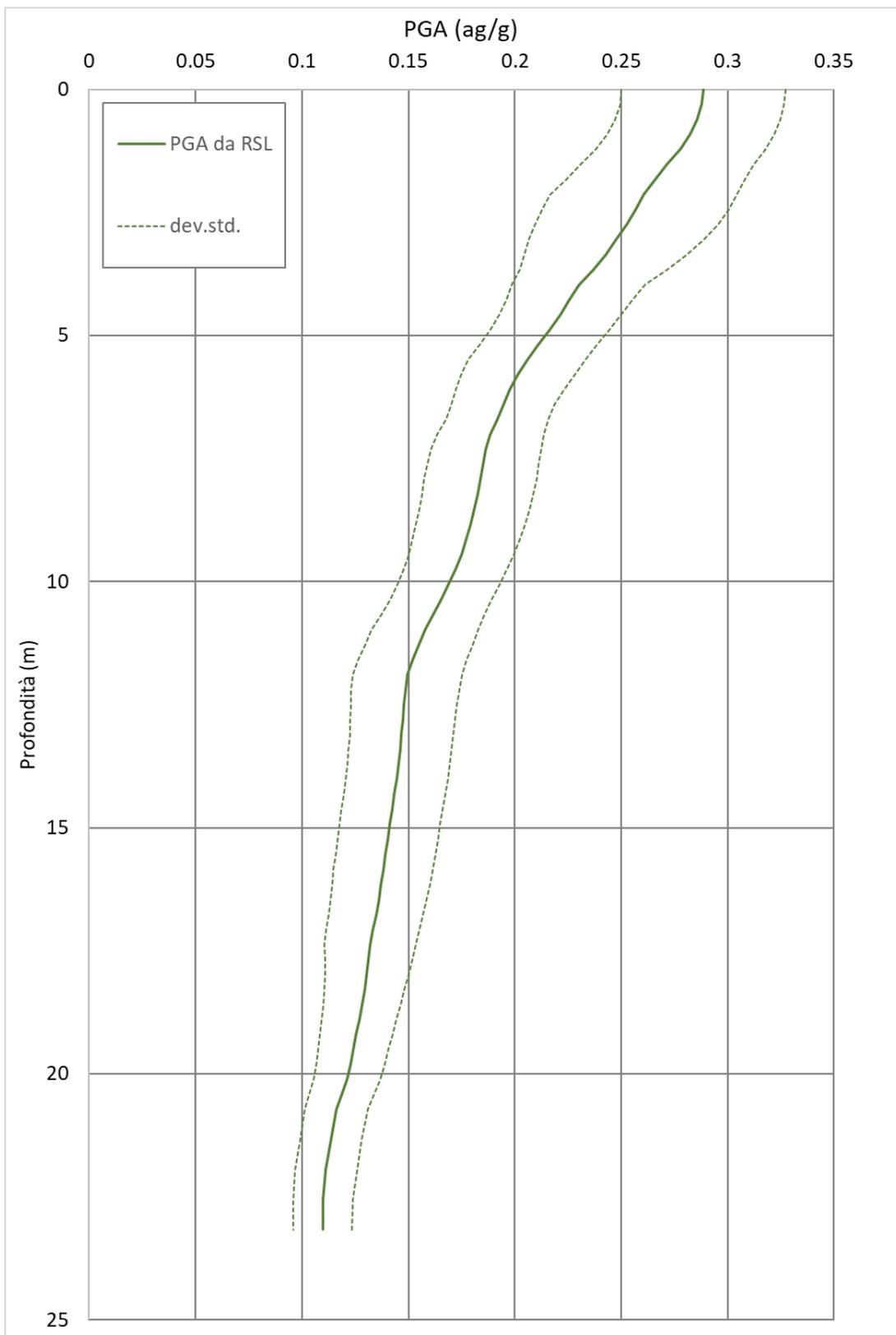


**Fig. 14 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 15 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	25 di 39



**Fig. 16 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	26 di 39

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FONTEVIVO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	2.02	1.9	1.5
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	2.01	2.1	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.28	2.4	
$FA_{IS\ 0.5-1.5}$	1.17		

**Tab. 8 – S2 - Fattori di amplificazione**

### 3.4 Criticità del metodo

I risultati in termini di amplificazione sismica riportati nei paragrafi precedenti sono riferiti ai soli modelli esposti nelle Tab. 5 e Tab. 7, cioè a modelli che tengono conto della sola sismostratigrafia riscontrata nel corso dei sondaggi.

Purtroppo tale modellazione non ha consentito di ottenere una funzione di trasferimento confrontabile con i risultati della prova HVSR.

Tale prova, infatti ha individuato un picco molto accentuato a 3.55 Hz, mentre il modello adottato presenta un picco attorno ai 2 Hz.

Per meglio comprendere il fenomeno in fase di analisi sono stati realizzati ben 4 diversi modelli, con profondità crescenti fino ai 45 m (a proposito di tale profondità si veda in paragrafo successivo). Oltre la profondità di 30 m si sono utilizzati i dati stratigrafici di pozzi reperiti in zona, mentre per la stima delle velocità Vs si è utilizzata un'interpolazione del tratto misurato, mediante una funzione potenza del tipo  $y=ax^b$ . Sulla base della funzione ricavata per il tratto misurato si sono poi calcolati i valori di Vs fino alle profondità richieste.

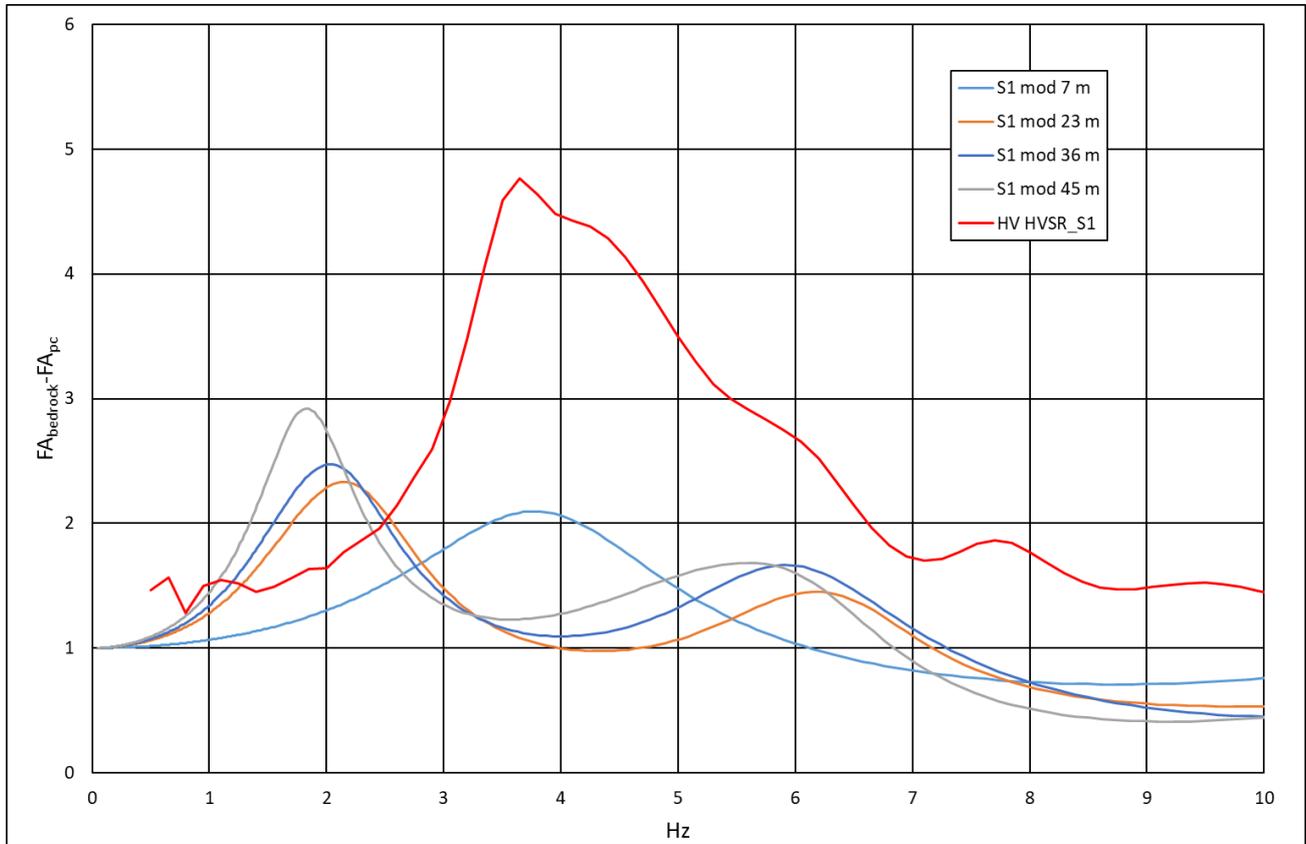
Va precisato che tutti i modelli sono identici per la porzione in comune.

Il risultato delle diverse modellazioni, in termini di funzione di trasferimento, è riportato in Fig. 17 per il sito del sondaggio S1.

Come si può constatare solo il modello che termina a 7 m di profondità, ha fornito una funzione di trasferimento con picco a 4 Hz, mentre tutti gli altri presentano un picco costante attorno ai 2 Hz, determinato dal contrasto di impedenza localizzato a 23 m di profondità e dettagliatamente misurato mediante la prova Down Hole.

Visto che le misure di Vs nei due fori di sondaggio sono molto simili tra loro e che le prove Down-hole sono da ritenersi affidabili, l'unica conclusione possibile è che la prova HVSR discernere molto bene il primo contrasto di impedenza, ma non riesce a "leggere" il successivo, più profondo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	27 di 39



**Fig. 17 - Confronto tra le funzioni di funzione di trasferimento per i diversi modelli e la curva H/V per il sito S1**

**3.4.1 Considerazioni sul bedrock sismico**

La definizione del *bedrock* sismico, cioè del sismostrato che presenta velocità delle onde di taglio  $V_s \geq 800$  m/s, costituisce un elemento di notevole importanza nell’ambito delle valutazioni di risposta sismica locale.

In realtà oggi si tende ad individuare il *bedrock* sismico, soprattutto in pianura, in corrispondenza di un elevato contrasto di impedenza sismica, cioè laddove il rapporto tra le velocità dello strato superficiale e quello più profondo supera il valore di  $2 \div 2.5$ .

A riguardo, va evidenziato che i contrasti d’impedenza significativi, registrati nel corso delle prove HVSR effettuate per il presente studio, contrariamente a quanto rilevato in varie zone della pianura emiliano romagnola, non possono essere associati a discontinuità stratigrafiche note.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	28 di 39

Infatti, mentre in letteratura (Martelli et alii<sup>7</sup>, 2013 e Martelli et alii<sup>8</sup>, 2014) è indicato che “*il maggiore contrasto di impedenza si ha in genere tra la base del sistema emiliano-romagnolo superiore (AES), datata tra 350.000 e 450.000 anni, e la base del subsistema AES6, datata circa 230.000-250.000 anni (RER e ENI-Agip, 1998)*”; nella zona in esame, come evidenziato nello studio “*Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*”<sup>9</sup>, e confermato dagli studi di microzonazione sismica di secondo livello effettuati dagli scriventi nel Comune di Fontevivo, tale discontinuità si rinviene indicativamente attorno ai 45 m da p.c.; profondità superiore a quella del *bedrock* definito nel presente studio (23 m da p.c.) .

Ciò lascia presumere che, a maggiori profondità, si possa avere almeno un altro contrasto d'impedenza, non evidenziato dalle indagini effettuate.

<sup>7</sup> L. Martelli, L. Calabrese, G. Ercolessi, P. Severi, G. Tarabusi, D. Pileggi, S. Rosselli, L. Minarelli, F. Pergalani, M. Compagnoni, G. Vannucchi, C. Madiati, J. Facciorusso, V. Fioravante, D. Giretti, M. Mucciarelli, E. Priolo, G. Laurenzano – (2014) Cartografia speditiva dell'amplificazione e del rischio di liquefazione nelle aree epicentrali del terremoto dell'Emilia 2012 (ML=5.9). Atti del 32 convegno GNGTS 2013

<sup>8</sup> L. Martelli, P. Severi, G. Biavati, S. Rosselli, R. Camassi, E. Ercolani, A. Marcellini, A. Tento, D. Gerosa, D. Albarello, F. Guerrini, E. Lunedei, D. Pileggi, F. Pergalani, M. Compagnoni, V. Fioravante e D. Giretti (2014) *Analysis of the local seismic hazard for the stability tests of the main bank of the Po River (northern Italy)*, Boll. Geof. Teor. Appl., 55, 119-134

<sup>9</sup> “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna” RER – ENI, Agip 1998 (a cura di G. Di Dio)

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	29 di 39

## 4. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 4.1 Carte delle indagini

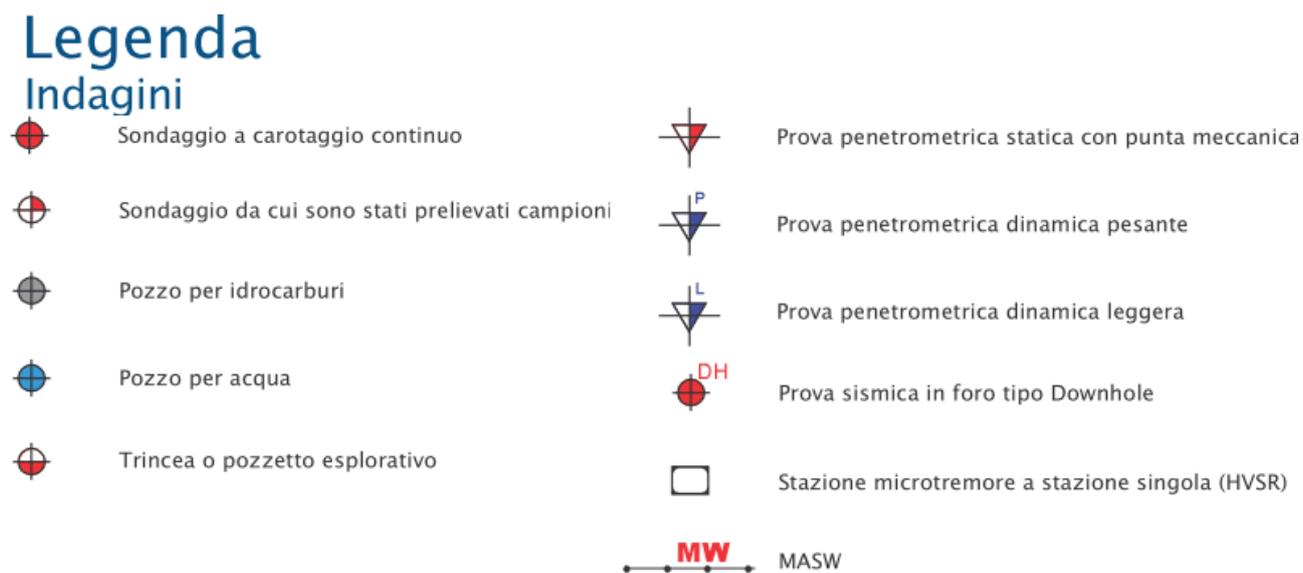
Nelle Carte delle indagini, alla scala 1:5.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione (per i cui report si faccia riferimento all'*Elaborato 7- Prove tromografiche*) e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o sismiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

Le prove sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo
- sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
- pozzo per idrocarburi
- pozzo per acqua
- prova sismica in foro tipo Downhole
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica dinamica pesante
- prova penetrometrica dinamica leggera
- trincea o pozzetto esplorativo
- stazione microtremore a stazione singola
- MASW

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 18.



**Fig. 18 - Legenda delle Carte delle indagini**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	30 di 39

Nelle carte sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definire le sue caratteristiche litostratigrafiche.

In Tab. 9 vengono riportati il numero e la tipologia di indagini presenti sul territorio studiato, acquisite mediante la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale o riprese dal database del Servizio Geologico regionale.

<b>TIPO PROVA</b>	<b>PROVENIENTE DA ARCHIVIO REGIONALE</b>	<b>PROVENIENTE DA ARCHIVIO COMUNALE</b>	<b>Indagini per il 3° livello MS</b>	<b>TOTALE</b>
<b>Sondaggio a carotaggio continuo</b>	1	25	2	<b>28</b>
<b>Prove Down-Hole</b>			2	<b>2</b>
<b>Analisi di laboratorio per la determinazione di G/G<sub>0</sub> e D</b>			2	<b>2</b>
<b>Pozzo per ricerca idrocarburi</b>	4	\		<b>4</b>
<b>Pozzo per acqua</b>	15	\		<b>15</b>
<b>Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)</b>		58		<b>58</b>
<b>Prova penetrometrica dinamica pesante</b>	5	61		<b>66</b>
<b>Prova penetrometrica dinamica leggera</b>	\	8		<b>8</b>
<b>MASW</b>	\	10		<b>10</b>
<b>Stazione microtremore a stazione singola</b>	\	54	2	<b>56</b>
<b>Trincea o pozzetto</b>	1	35		<b>36</b>

**Tab. 9 - Riepilogo delle indagini geostatiche presenti sul territorio comunale**

## 4.2 Carte delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti nell'Archivio Comunale, sia di nuova acquisizione, sono state redatte le Carte delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:5.000.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

In queste carte sono stati riportati tutti i punti di misura (56), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ).

 <b>EN GEO S.r.l.</b> <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	31 di 39

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 1$  Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$  Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$  Hz
- $F_0 > 8$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un alto contrasto di impedenza ( $H/V > 3$ ) o da un basso contrasto di impedenza (ampiezza  $H/V \leq 3$ ).

### 4.3 Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, sono state redatte per tutte le aree oggetto di studio delle Carte delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ).

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tromografica, MASW o ReMi) e indicando il corrispondente valore di  $V_{sH}$  (in m/s), dove:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$H$  = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato *i*-esimo (fino al *bedrock*)

$V_{s_i}$  = velocità (in m/s) dello strato *i*-esimo (fino al *bedrock*);

o di  $V_{s30}$  (sempre in m/s), dove:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato *i*-esimo (fino alla profondità di 30 m);

$V_{s_i}$  = velocità (in m/s) dello strato *i*-esimo (fino alla profondità di 30 m).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	32 di 39

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI FONTEVIVO</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

#### 4.4 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3 in scala 1:10.000 fanno parte degli elaborati grafici conclusivi del presente studio. In esse sono evidenti i locali approfondimenti di terzo livello, realizzati nelle Zone occidentali del territorio comunale, laddove l'analisi di 2° livello aveva evidenziato fattori di amplificazione particolarmente elevati.

L'amplificazione è stata calcolata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA<sub>0</sub>), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI<sub>0</sub>) per prefissati intervalli di periodi attraverso l'analisi approfondita, descritta nel capitolo 3 (Analisi di risposta sismica locale) della presente relazione.

La cartografia realizzata in merito alla Microzonazione sismica di Livello 3 è costituita dai seguenti elaborati:

- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA<sub>PGA</sub> (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA<sub>IS 0,1 - 0,5 s</sub> (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA<sub>IS 0,5 - 1,0 s</sub> (scala 1:5.000).

Nelle zone in cui non sono stati effettuati approfondimenti di 3° livello, i fattori di amplificazione sono stati valutati sulla base degli abachi definiti dalla DGR 2193/2015.

La scelta dell'abaco per la stima è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo. In Comune di Fontevivo, si sono usate le seguenti tabelle, proposte nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali,

- Tabella riportata in Tab. 10, relativa ad un profilo stratigrafico tipo APPENNINO, caso di substrato non rigido, cioè caratterizzato da Vs << 800 m/s, affiorante; utilizzata per tutta la porzione Est del comune di Fontevivo, caratterizzata da depositi ghiaiosi sub-affioranti.
- Tabelle riportate in Tab. 11 rappresentative di aree di MARGINE di tipo A ossia caratterizzate da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; utilizzate nel settore Ovest del territorio comunale, ad eccezione delle aree in cui è stata realizzata l'analisi di risposta sismica locale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	33 di 39

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
F.A. PGA					1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
F.A. SI1					1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2
F.A. SI2					1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3

**Tab. 10 - Tabelle utilizzate per la stima di F.A. per APPENNINO caso di substrato non rigido, cioè caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, affiorante (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)**

	150	200	250	300	350	400
5	2.3	2.1	1.8	1.5		
10	2.3	2.2	2.0	1.8		
15	2.1	2.1	2.0	1.8		
20	2.1	2.1	2.0	1.9		
25	2.0	2.0	2.0	1.9		
30	1.9	1.9	1.9	1.9		

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{SH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400
5	2.2	1.9	1.7	1.6		
10	2.6	2.4	2.0	1.8		
15	2.6	2.5	2.2	1.9		
20	2.5	2.5	2.3	2.0		
25	2.3	2.3	2.2	2.1		
30	2.1	2.1	2.1	2.0		

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{SH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400
5	1.8	1.7	1.6	1.6		
10	2.3	2.0	1.8	1.7		
15	3.2	2.6	2.1	2.0		
20	3.5	3.1	2.5	2.1		
25	3.7	3.4	2.8	2.4		
30	3.6	3.5	3.0	2.6		

Fattori di Amplificazione **SI2** ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{SH}(m/s)$

**Tab. 11 - Tabelle utilizzate per la stima di F.A. per MARGINE di tipo A (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	34 di 39

Per quanto riguarda le aree in cui si è usata la tabella di tipo APPENNINO i valori di  $V_{s30}$  considerati per il calcolo, tenuto conto di quanto prescritto dagli SRAI, che indicano di redigere, per le Carte di microzonazione sismica, una legenda come quella riportata in Fig. 19, e dei valori desunti dalle indagini, si sono fatti degli accorpamenti, distinguendo in 3 tipologie:

- Aree con  $V_{s30} > 475$  m/s, che ricadono nell'allineamento che collega all'incirca Case Andina con il settore più settentrionale del Cepim, interessando l'estremità orientale dell'abitato di Bianconese, cui corrisponde l'appartenenza alle classi:
  - $F_{a_{PGA}} = 1.3 - 1.4$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 1.3 - 1.4$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 1.3 - 1.4$
- Aree con  $375 > V_{s30} > 325$  m/s, cartografate in corrispondenza della frazione di Bellena e di Case Cantarana, cui corrisponde l'appartenenza alle classi:
  - $F_{a_{PGA}} = 1.9 - 2.0$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 1.9 - 2.0$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 1.5 - 1.6$
- Aree con  $475 > V_{s30} > 375$  m/s, che interessa tutta la restante parte della Zona 1, cui corrisponde l'appartenenza alle classi:
  - $F_{a_{PGA}} = 1.7 - 1.8$
  - $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.1s < T_0 < 0.5s}} = 1.7 - 1.8$   $F_{a_{\text{Intensità spettrale } 0.5s < T_0 < 1.0s}} = 1.5 - 1.6$

Nelle aree in cui si è usata la tabella MARGINE di tipo A, sempre partendo dei valori desunti dalle indagini, si sono utilizzati valori di  $V_{s_h}$  sempre maggiori di 275 m/s per H pari a 15, 20 o 25 in base al settore. In particolare H maggiori sono caratteristiche della porzione Sud-Occidentale del comune mentre sono risultate H minori spostandosi verso Nord.

 <b>EN GEO S.r.l.</b> <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	35 di 39

Parametro di amplificazione <sup>29</sup>	Simbolo
1.1 - 1.2	
1.3 - 1.4	
1.5 - 1.6	
1.7 - 1.8	
1.9 - 2.0	
2.1 - 2.2	
2.3 - 2.4	
2.5 - 3.0	
3.1 - 3.5	
>3.5	

**Fig. 19 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D., Castellaro S. (2011): TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 - 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- Baldi M., Baldini U., Bevivino R., Castagnetti S., Daminelli R., Gianferrari C., Marcellini A., Martelli L. e Tenta A. (2010): UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato
- Castagnetti S. (2010): VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA a corredo del P.S.C. del Comune di Fontanellato (PR)
- Di Dio G. (2007): STUDIO DELLA CONOIDE ALLUVIONALE DEL FIUME TARO PER LA REALIZZAZIONE DI UN MODELLO IDROGEOLOGICO PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE
- Engeo s.r.l. (2011): ELABORATI DEL QUADRO CONOSCITIVO - AMBIENTE SUOLO E SOTTOSUOLO E AMBIENTE IDRICO SOTTERRANEO, Piano Strutturale Comunale di Fontevivo (PR), approvato con delibera di C.C. n. 56 del 20/12/2012
- Gruppo di lavoro MS (2008): INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd  
[http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)
- Locati M., Camassi, R. e Stucchi M. (a cura di) (2011): BDMI11, LA VERSIONE 2011 DEL DATABASE MICROSISMICO ITALIANO. Milano, Bologna  
<http://Emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- Marcellini A., Martelli L, Tenta A., Daminelli R. (2009): L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA"
- Meletti C. e Valensise G., (2004): ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004).Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA - Scala 1:250.000 (2004) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Firenze

 <b>EN GEO S.r.l.</b> <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	37 di 39

**COMUNE DI FONTEVIVO**

Studio di microzonazione sismica

Terzo livello di approfondimento

- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
- MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 - FOGLIO 181, Parma Nord - REGIONE EMILIA-ROMAGNA, S.EL.CA. s.r.l., Firenze 2009

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	38 di 39

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI FONTEVIVO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 6. ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici:

Tav. 1_Est	Carta delle indagini - Settore Est	scala 1:5.000
Tav. 1_Ovest	Carta delle indagini - Settore Ovest	scala 1:5.000
Tav. 3_Est	Carta delle frequenze naturali dei terreni - Settore Est	scala 1:5.000
Tav. 3_Ovest	Carta delle frequenze naturali dei terreni - Settore Ovest	scala 1:5.000
Tav. 5_Est	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) - Settore Est	scala 1:5.000
Tav. 5_Ovest	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) - Settore Ovest	scala 1:5.000
Tav. 6a_Est	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{PGA}}$ Settore Est	scala 1:5.000
Tav. 6a_Ovest	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{PGA}}$ Settore Ovest	scala 1:5.000
Tav. 6b_Est	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{IS\ 0.1s < T_0 < 0.5s}}$ Settore Est	scala 1:5.000
Tav. 6b_Ovest	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{IS\ 0.1s < T_0 < 0.5s}}$ Settore Ovest	scala 1:5.000
Tav. 6c_Est	Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $F_{a_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.0s}}$ Settore Est	scala 1:5.000
Tav. 6c_Ovest	Carta di microzonazione sismica Livello 3 $F_{a_{IS\ 0.5s < T_0 < 1.0s}}$ Settore Ovest	scala 1:5.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati

- Elaborato 7- Prove tromografiche, in cui sono riportati tutti i report delle nuove indagini sismiche effettuate.
- Elaborato 8 - Stratigrafie sondaggi, con la stratigrafia dei sondaggi realizzati specificamente per il presente studio
- Elaborato 9 - Prove Down-Hole, contenente i risultati delle prove Down-Hole effettuate nei fori di sondaggio
- Elaborato 10 - Analisi di laboratorio, contenente i certificati delle analisi geotecniche effettuate sui campioni prelevati nei sondaggi.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	MS 3 - Relazione illustrativa	Luglio 2017	0	39 di 39